

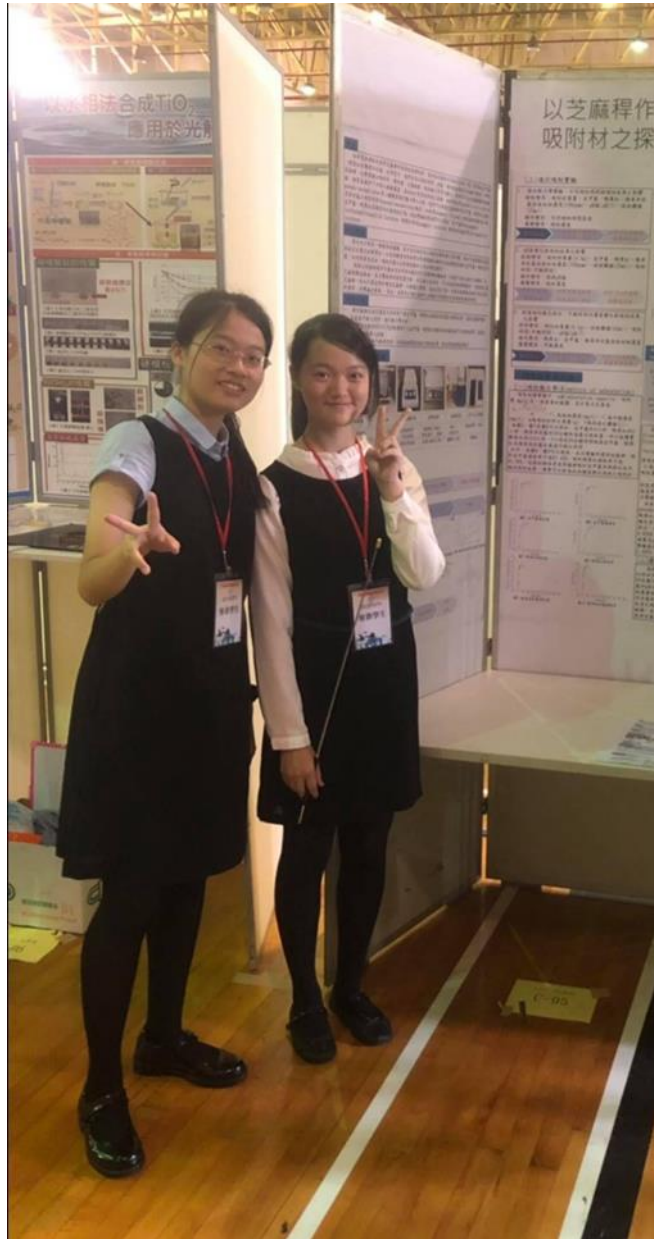
2020 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 030022
參展科別 化學
作品名稱 以農業廢棄物芝麻稈做為紡織業常用染劑
吸附材質之探討
得獎獎項 大會獎：四等獎

就讀學校 國立臺南女子高級中學
指導教師 陳俊佑、張勤
作者姓名 陳茜筠、陳蓁

關鍵詞 吸附材、亞甲藍、剛果紅

作者簡介



我們是台南女中數理資優班的陳茜筠、陳蓁，源於對化學的熱愛及對環境污染等議題的擔憂，高二時我們便開始進行這份作品的製作，過程中也學習到了許多實驗技巧，很感謝學校能提供給我們相關資源進行專題研究，使我們可以毫無後顧之憂地進行實驗，也很謝謝指導老師一直以來的協助，讓我們遇到的難關均能順利迎刃而解，最後才能站上國際科展的舞台。

摘要

本研究的重點是使用芝麻稈作為高效的吸附材，進而從水溶液中去除在染紡工業上常用的亞甲藍、剛果紅及雅里西安藍。在研究中，我們分別以吸附時間、pH值、吸附起始濃度作為操作變因，研究其物理、化學參數如吸附率、移除量、反應級數、吸附模式等等之變化^{[1][5]}。使用UV-Vis光譜儀製作檢量線，推算各條件下所得之剩餘濃度，並由此計算其他所需之參數。本研究使用pseudo-first-order及pseudo-second-order進行動力學之分析，我們可以發現芝麻稈對於亞甲藍^{[3][4][5]}、剛果紅^[2]及雅里西安藍之吸附均符合pseudo-second-order模型；最佳吸附pH分析則可得知，亞甲藍於pH=5、剛果紅於pH=7，雅里西安藍於pH=8下可得最佳吸附效果；如使用恆溫吸附模型分析其吸附行為，則由實驗結果我們可以得知：亞甲藍符合Langmuir Isotherm及Freundlich Isotherm、剛果紅符合Langmuir Isotherm、雅里西安藍則符合Freundlich Isotherm；而其最大吸附量分別高達每克吸附材可吸附6624.75毫克亞甲藍、10815.74毫克剛果紅或18574.4毫克雅里西安藍。

Abstract

The focus of this study was the use of sesame stalks as highly efficient adsorbent materials to remove Methylene Blue, Congo Red and Alcian Blue commonly used in the dyeing and spinning industry from aqueous solutions. In the study, we used the adsorption time, pH value and adsorption initial concentration as the operational variables, and studied the changes of physical and chemical parameters such as adsorption rate, removal amount, reaction order, adsorption mode and so on. The calibration curve was prepared using a UV-Vis spectrometer, and the remaining concentration obtained under each condition was calculated, and other required parameters were calculated therefrom. In this study, pseudo-first-order and pseudo-second-order were used to analyze the kinetics. We can find that the adsorption of sesame stalks for Methylene Blue, Congo Red and Alcian Blue is consistent with the pseudo-second-order model; Adsorption pH analysis showed that Methylene Blue at pH=5, Congo Red at pH=7, and Alcian Blue at pH=8 gave the best adsorption effect; if the adsorption behavior was analyzed using a constant temperature adsorption model, From the experimental results, we can know that: Methylene Blue is consistent with Langmuir Isotherm and Freundlich Isotherm, Congo Red is in accordance with Langmuir Isotherm, and Alcian Blue is in accordance with Freundlich Isotherm; and its maximum adsorption capacity is as high as 6624.75mg Methylene Blue per gram of adsorbent, 10815.74mg Congo Red per gram of adsorbent , or 18574.4mg Alcian Blue per gram of adsorbent , which is a considerable amount of adsorption. It is thus known that the stalk can effectively improve the discharge efficiency of the textile industry in a large amount.

壹、前言

一、研究動機

現今水汙染是一個重要的議題，其中含有相當高比例的有機染劑汙染問題，例如可能致癌或是損害未出生嬰兒的剛果紅^[2]、雅里西安藍，以及紡織業常用卻常於用畢隨廢水排放而造成環境負擔之亞甲藍^{[3][4][5]}，如何開發低成本、吸附容量大且對環境親和力高的吸附劑呢？

地球上的植物每年可藉由光合作用而獲得約1500億噸的纖維素，含量多且具生物可分解性。芝麻可提煉成麻油，是台灣南部的特色農作物，且芝麻生長快速，但除提供經濟價值之外，亦遺留大量芝麻稈。以往農家對於殘存芝麻稈，大都露天燃燒，造成空氣汙染，如果芝麻稈能有效作為生質材料應用，是雙贏的發展。

因此，我們決定進行麻稈之相關性質與探討它的吸附效果的研究。

二、研究目的

- (一) 探討麻稈在相同濃度下，不同時間下對亞甲藍、剛果紅、雅里西安藍之吸附效果，並找出麻稈吸附各色素達平衡之時間，進行動力學分析。
- (二) 探討麻稈在平衡時間內，不同pH值環境下對亞甲藍、剛果紅、雅里西安藍溶液之吸附效果，並找出最佳吸附效果之pH值。
- (三) 探討麻稈在對各色素達吸收平衡時間時，由不同起始濃度溶液進行吸附，找出麻稈對不同色素之恆溫吸收模式。
- (四) 量測芝麻稈對於亞甲藍、剛果紅、雅里西安藍之最大吸附量。

貳、研究方法或過程

一、研究設備及器材

(一) 實驗儀器

		
食物調理機	電子天秤	加熱攪拌器
		
UV-Vis光譜儀	抽濾裝置	pH測試筆

(二) 實驗器材與藥劑

實驗器材				
容量瓶 (25mL、100mL、1L)	燒杯 (50mL)	分度吸量管 安全吸球	過濾瓶 (125mL)	陶瓷漏斗 濾紙
玻璃滴管、乳帽	磁石	石英cell		
藥劑				
亞甲藍 廠牌???	剛果紅	雅里西安藍	鹽酸(0.1M)	氫氧化鈉(0.1M)
蒸餾水				

二、研究過程或方法

(一) 色素濃度檢測原理

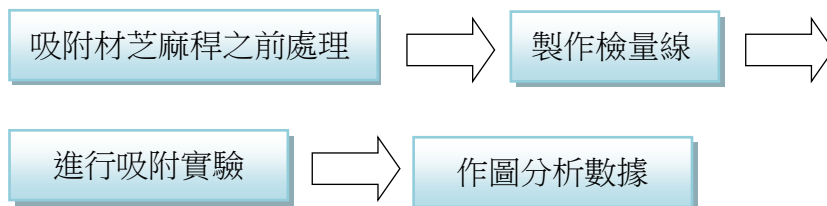
電子由較低能量之軌域被激發到較高能量之軌域時會吸收能量，紀錄具最大吸收處的波長，以此特定波長測樣品之吸光度(A)，並將吸光度(A)對樣品濃度(ppm)作圖，由比爾定律： $A = \epsilon * C * L$

(A:吸光度、 ϵ :莫爾吸光係數、C:濃度(ppm)、L:管長(1cm))

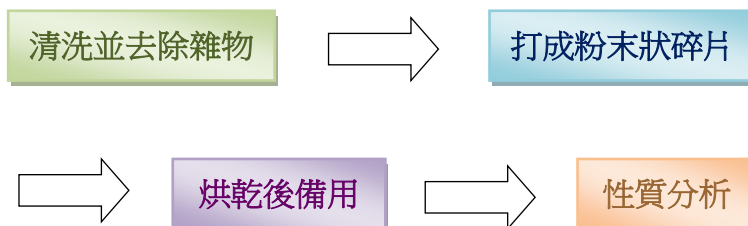
，可得一斜直線，即檢量線，透過此檢量線可利用內插法，由吸光度(A)求得待測樣品的濃度(C)。

(二) 實驗設計

實驗流程大綱



1. 芝麻稈之前處理



實驗步驟

- (1) 從農家直接取回曬乾後的芝麻稈。
- (2) 將葉片、豆莢去除，並以流動水處理外部泥沙及雜物後曬乾。
- (3) 將稈切割成細塊，並利用食物調理機將之打成碎片。
- (4) 放入烘箱，以120° C，烘乾24小時後，冷卻後封藏備用。
- (5) 取少量芝麻稈粉末，加入蒸餾水後放入磁石，置於加熱版上使其攪拌達24小時，確認是否會釋出麻稈本身之色素，進而影響實驗觀測結果。

2. 製作檢量線



實驗步驟

- (1) 配置剛果紅、雅里西安藍、亞甲藍之 2.5、5、10、20、40ppm 溶液。
- (2) 置入UV-Vis光譜儀中在特定波長(800~190nm)下收集的吸光度，將資料轉存至Origin 8 中分析尋找最大吸光度之 λ_{\max} 。

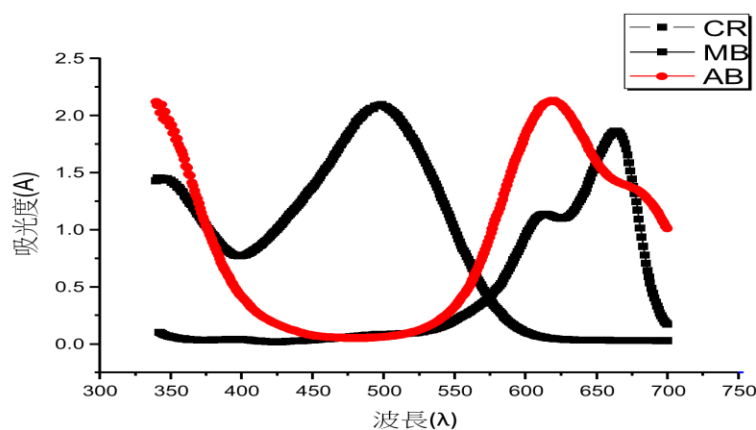
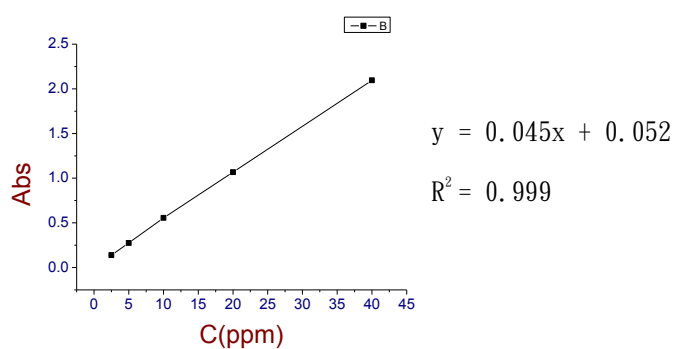


圖1 亞甲藍、剛果紅、雅里西安藍

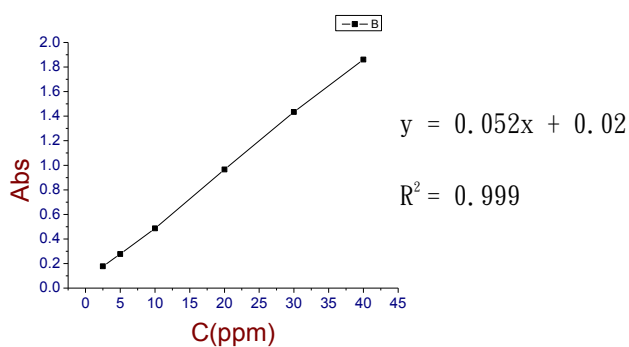
40ppm下之吸收光譜 $\lambda_{\max} = 664 \text{ nm}、499 \text{ nm}、620 \text{ nm}$

(3) 以此 λ_{\max} 值為 y 座標、濃度為 x 座標作圖。



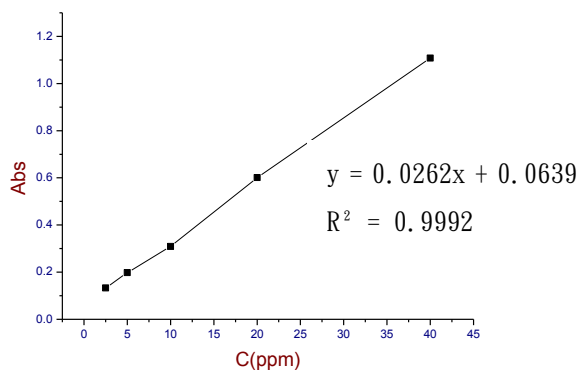
濃度(ppm)	吸光度
40	1.86069
20	0.96588
10	0.48635
5	0.27701
2.5	0.1779

圖 2 亞甲藍溶液之濃度-吸光度圖



濃度(ppm)	吸光度
40	2.09507
20	1.06724
10	0.55589
5	0.27463
2.5	0.13918

圖 3 剛果紅溶液之濃度-吸光度圖



濃度(ppm)	吸光度
40	1.1076
20	0.601152
10	0.309132
5	0.1976
2.5	0.1326

圖 4 雅里西安藍溶液之濃度-吸光度圖

3. 進行吸附實驗

吸附動力學實驗：不同吸附時間對吸附效果之影響

控制變因：吸附材重量、亞甲藍(剛果紅、雅里西安藍)溶液、初始濃度
(100ppm)、pH值(pH=7)、溶液體積(25ml)

操作變因：不同吸附時間長度

應變變因：平衡時吸附濃度



實驗步驟

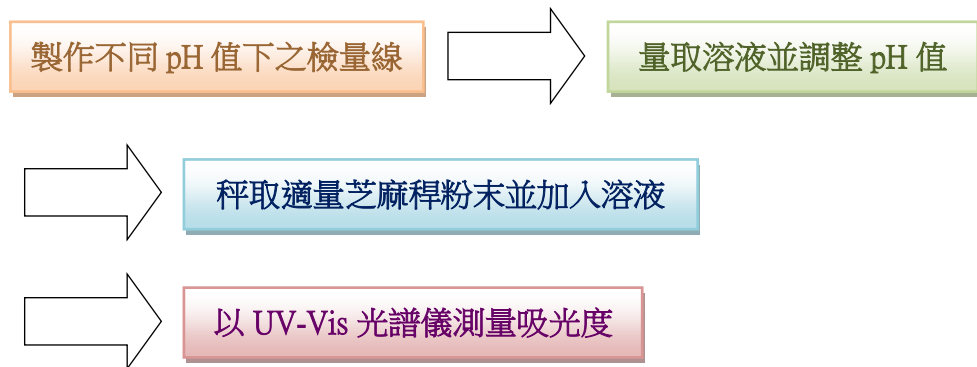
- (1) 以分度吸量管分別量取100ppm之亞甲藍、剛果紅、雅里西安藍溶液各25ml，置於50ml小燒杯中，置入磁石。
- (2) 以電子天秤秤取0.5g之吸附材，加入已裝有剛果紅、雅里西安藍、亞甲藍溶液之燒杯中，置於加熱攪拌器上使溶液及芝麻稈粉末混合均勻，使其進行吸附反應達10分鐘、20分鐘、30分鐘、40分鐘、50分鐘、1小時、2小時、3小時、4小時、5小時、6小時、24小時。
- (3) 以陶瓷過濾器過濾溶液，以UV-Vis光譜儀測量澄清溶液之吸光度，並以檢量線求出對應之濃度。

4. pH值變化對吸附效果之影響

控制變因：吸附材重量(0.5g)、亞甲藍(剛果紅、雅里西安藍)溶液初始濃度(100ppm)、溶液體積(25ml)、吸附時間(平衡時間)

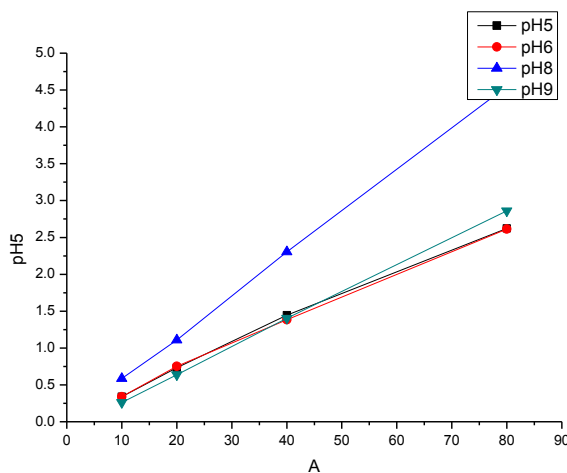
操作變因：溶液pH值

應變變因：吸附濃度



實驗步驟

(1) 製作剛果紅、雅里西安藍、亞甲藍在不同pH值下的檢量線。



$$\text{pH}=5:y=0.032x+0.073 \quad R^2=0.996$$

$$\text{pH}=6:y=0.032x+0.071 \quad R^2=0.998$$

$$\text{pH}=8:y=0.056x+0.003 \quad R^2=0.999$$

$$\text{pH}=9:y=0.037x-0.100 \quad R^2=0.999$$

圖5 亞甲藍不同pH值下檢量線

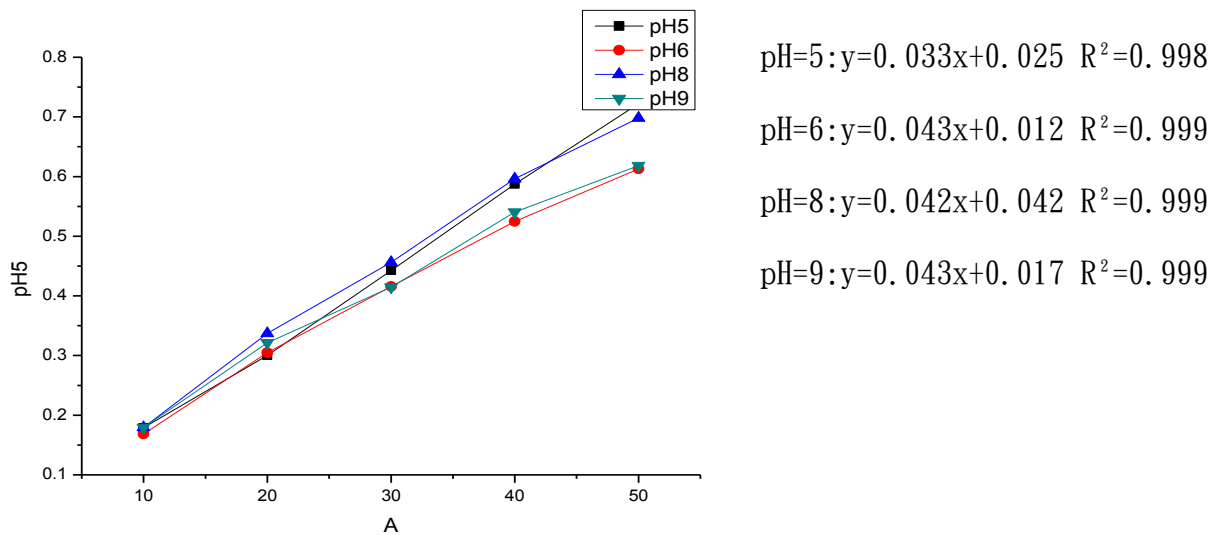


圖6 剛果紅不同pH值下檢量線

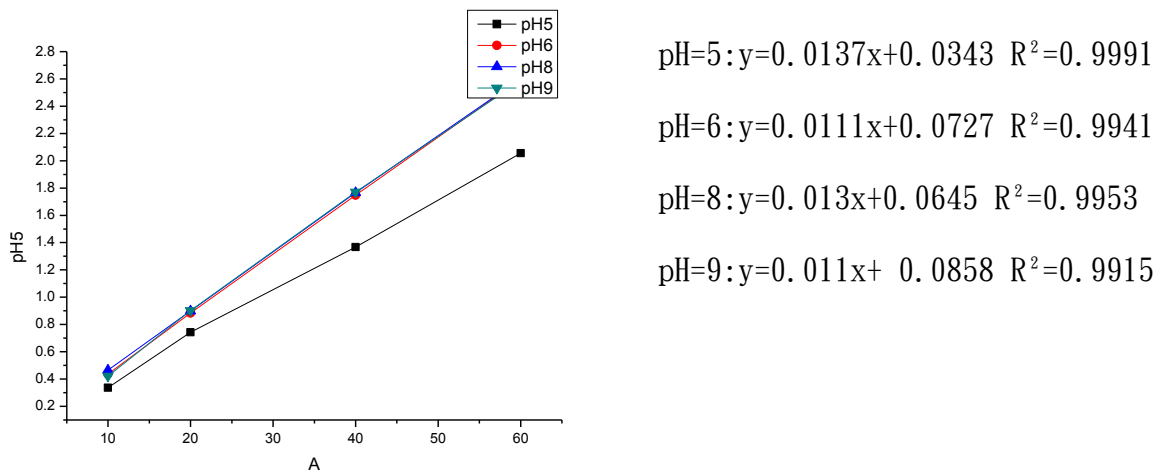


圖7 雅里西安藍不同pH值下檢量線

- (2) 以分度吸量管量取100ppm之亞甲藍、剛果紅、雅里西安藍溶液各25ml，置於50ml小燒杯中，置入磁石，以滴加鹽酸水溶液(0.1M)及氫氧化鈉水溶液(0.1M)方式分別調整其pH值至pH=9、8、6、5。
- (3) 以電子天秤稱取0.5g之吸附材，加入已裝有亞甲藍(剛果紅、雅里西安藍)之燒杯中，置於加熱攪拌器上使溶液及芝麻稈粉末混合均勻，使其進行吸附反應達平衡時間(亞甲藍為四小時、剛果紅為二小時、雅里西安藍為二十分鐘)。

(4) 以陶瓷過濾器過濾溶液，以UV-Vis光譜儀測量澄清溶液之吸光度，並以檢量線求出對應之濃度。

5. 恆溫吸附模式探討：平衡時間內濃度變化對吸附效果之影響

控制變因：吸附材重量(0.5g)、溶液體積(25ml)、吸附時間(平衡時間)、
pH值(pH=7)

操作變因：剛果紅、雅里西安藍、亞甲藍溶液初始濃度

應變變因：吸附濃度



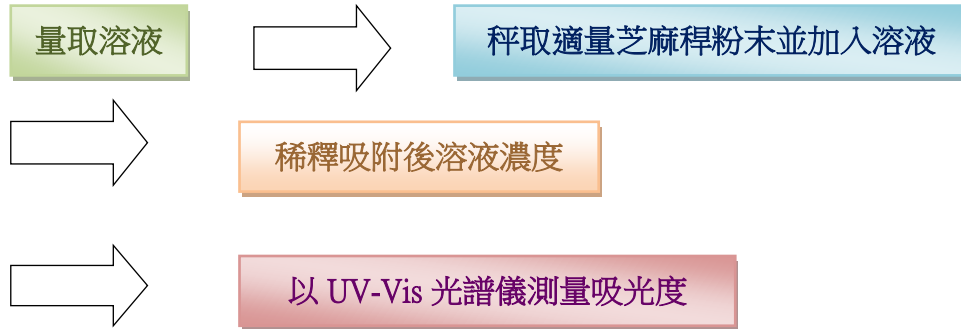
實驗步驟

- (1) 以分度吸量管分別量取不同濃度之亞甲藍、剛果紅及雅里西安藍溶液25ml，置於50ml小燒杯中，置入磁石。
- (2) 以電子天秤秤取0.5g之吸附材，加入已裝有亞甲藍、剛果紅、雅里西安藍之燒杯中，置於加熱攪拌器上使溶液及芝麻稈粉末混合均勻，使其進行吸附反應達平衡時間(剛果紅為二小時、亞甲藍為四小時、雅里西安藍為20分鐘)。
- (3) 以陶瓷過濾器過濾溶液，以UV-Vis光譜儀測量澄清溶液之吸光度，並以檢量線求出對應之濃度。

6. 最大吸附量實驗

控制變因：吸附材重量(0.5g)、溶液體積(25ml)、吸附時間(24小時)、
pH值(pH=7)

應變變因：吸附濃度



實驗步驟

- (1) 以分度吸量管分別量取10000ppm之亞甲藍、剛果紅、雅里西安藍置於50ml小燒杯中，置入磁石。
- (2) 以電子天秤秤取0.5g之吸附材，加入已裝有亞甲藍、剛果紅、雅里西安藍之燒杯中，置於加熱攪拌器上使溶液及芝麻稈粉末混合均勻，使其進行吸附反應達24小時。
- (3) 取澄清溶液稀釋至原濃度之百分之一。
- (4) 以陶瓷過濾器過濾溶液，以UV-Vis光譜儀測量澄清溶液之吸光度，並以檢量線求出對應之濃度，推算吸附後之濃度。

參、 研究結果與討論

一、 吸附動力學(Kinetics of Adsorption)

吸附相關實驗中， q 值(adsorption capacity，吸附量， q ，mg/g)是一個重要的數據。其計算式定義為： $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ ， C_0 為起始濃度(mg/L)， C_e 為平衡濃度(mg/L)， m 為吸附材料之重量(g)， V 為溶液之體積(L)。由圖8、圖9及圖10可以得知，亞甲藍於4小時即可達到最大吸附量，而剛果紅於2小時、雅里西安藍於20分鐘亦達最大吸收量。所以後續實驗就分別以4小時、2小時及20分鐘做為亞甲藍、剛果紅及雅里西安藍反應達平衡之時間。

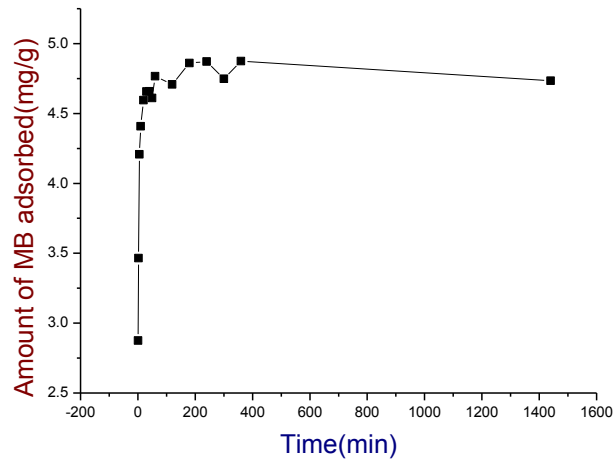


圖8 亞甲藍吸附量

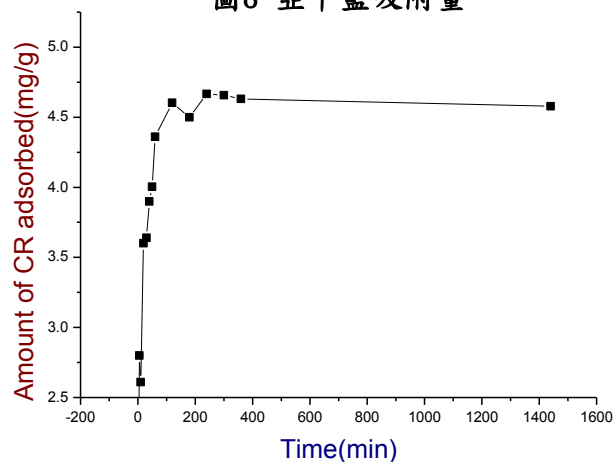


圖9 剛果紅吸附量

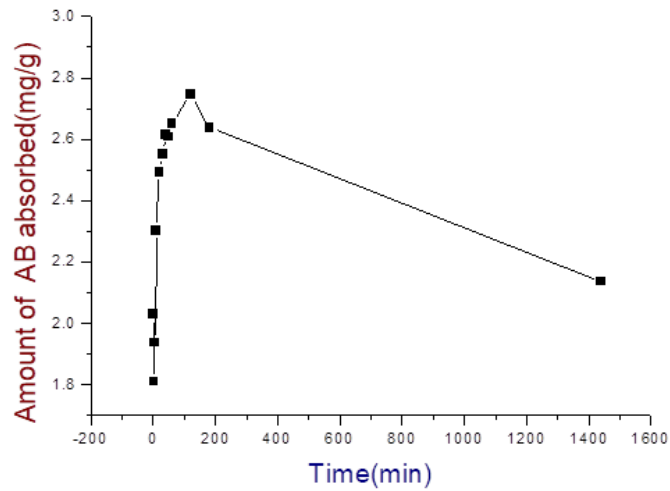


圖10 雅里西安藍吸附量

此外，麻稈對各色素的移除率，由圖11、圖12及圖13可以發現，本次實驗所選用的麻稈，對於亞甲藍移除率可達97.42%，對於剛果紅移除率可達92.06%。這樣的移除率使得麻稈對於亞甲藍及剛果紅有不錯的吸附效果，確實可以做為此兩種染劑水溶液之吸附材。但反觀雅里西安藍，其移除率僅50%，推測其應是因為其分子基團較大且較不帶電所致。

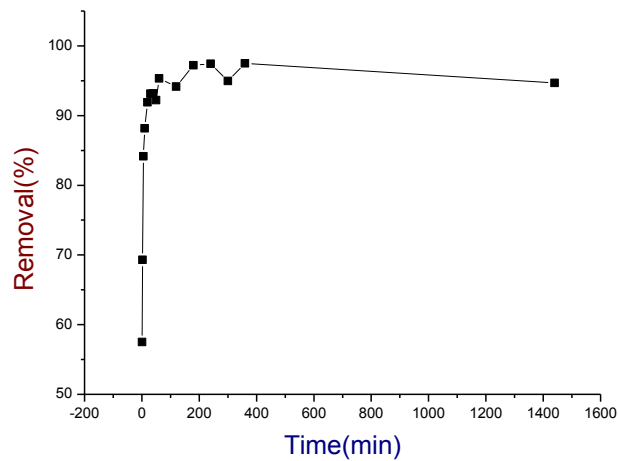


圖11 亞甲藍移除率

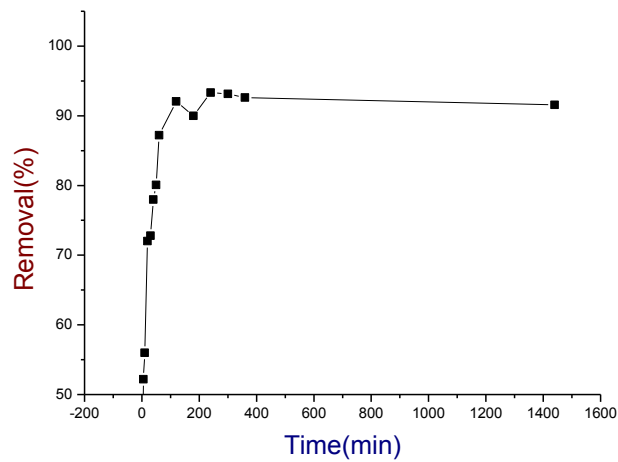


圖12 剛果紅去除率

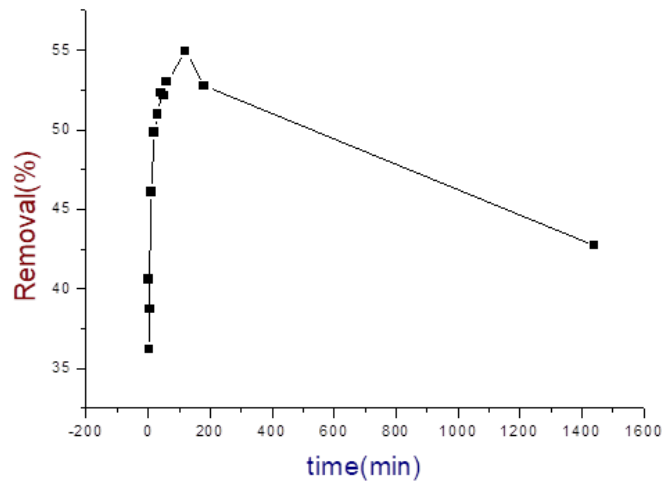


圖13 雅里西安藍去除率

在吸附動力學相關研究中，反應級數主要有分pseudo-first-order及pseudo-second-order兩種。而pseudo-first-order反應時間及平衡吸附量之關係為 $\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2.303}$ ， q_e 為平衡時每克吸附材的色素吸收量， q_t 為某時刻每克吸附材的色素吸收量， k_1 為速率常數。而pseudo-second-order反應時間及平衡吸附量之關係為 $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$ ， q_e 為平衡時每克吸附材的色素吸收量， q_t 為某時刻每克吸附材的色素吸收量， k_2 為速率常數。本次實驗亞甲藍、剛果紅、雅里西安藍在

動力學模式中其相關數據如表一。

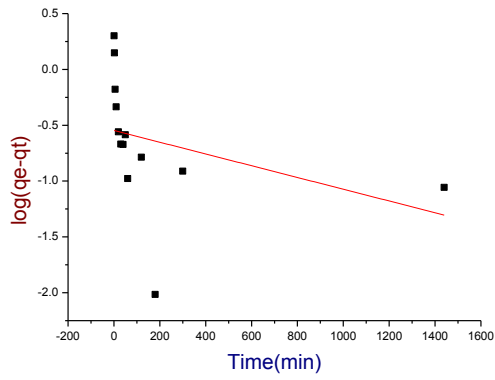


圖14亞甲藍pseudo-first-order動力學

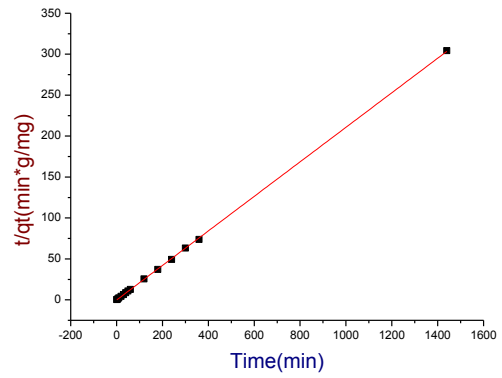


圖15亞甲藍pseudo-second-order動力學

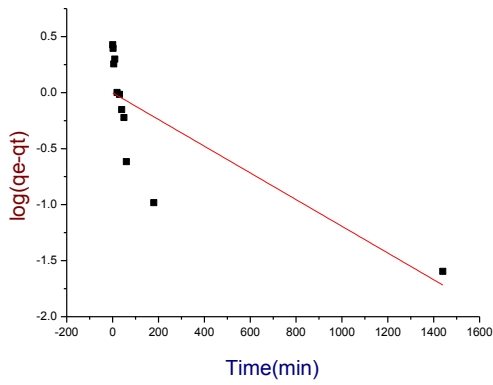


圖16剛果紅pseudo-first-order動力學

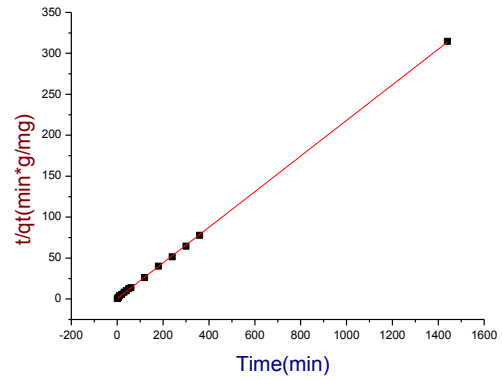


圖17剛果紅pseudo-second-order動力學

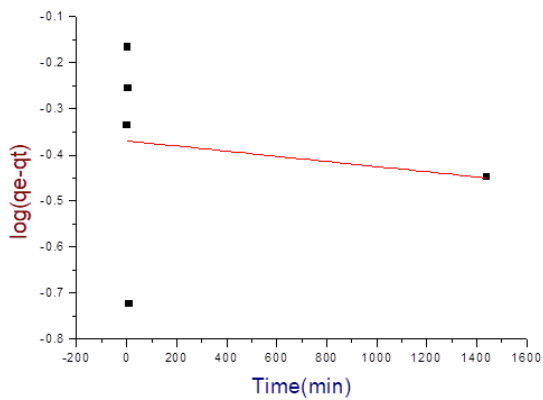


圖18雅里西安藍pseudo-first-order動力學

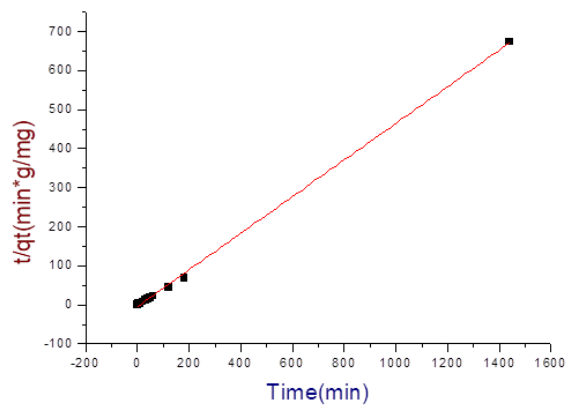


圖19雅里西安藍pseudo-second-order動力學

由表一可以得知，不論是亞甲藍、剛果紅或是雅里西安藍，在 pseudo-second-order 模式下，其 R^2 值，亞甲藍為 0.9997，剛果紅為 0.9999、雅里西安藍為 0.9992，代表麻稈對於三種色素均為 pseudo-second-order 吸附動力學模式。以亞甲藍而言，其實驗 q_e 值為 4.8712，理論 q_e 為 4.8520，足以證明以麻稈進行亞甲藍的吸附其動力學模式確實是 pseudo-second-order。同理，以剛果紅而言，其實驗 q_e 值為 4.6033，理論 q_e 為 4.7801，雅里西安藍其實驗 q_e 值為 2.4923，理論 q_e 為 2.1308，亦符合 pseudo-second-order。

Kinetic models	Kinetic parameters	MB	CR	AB
pseudo-first-order	q_e (exp)(mg/g)	4.8712	4.6033	2.4923
	q_e (mg/g)	0.3643	0.9249	0.4272
	k_1 (min ⁻¹)	0.0179	0.0023	12.893
	R^2	0.0251	0.5590	-0.2962
pseudo-second-order	q_e (exp)(mg/g)	4.8712	4.6033	2.4923
	q_e (mg/g)	4.8520	4.7801	2.1308
	k_2 (g/mg min)	0.1576	0.2802	0.0566
	R^2	0.9997	0.9999	0.9992

表一 吸附動力學相關數據

二、 最佳吸附pH值實驗(Optimization of pH)

利用HCl及NaOH水溶液進行吸附環境的pH調整，已找出何種環境可使麻稈達到較佳的吸附量。由圖20得知，亞甲藍於pH=5下，麻稈對於亞甲藍的吸附量最佳。由圖21亦可得知，剛果紅於pH=7下，麻稈對於剛果紅的吸附量最佳。由圖22則可知雅里西安藍在pH=8下，麻稈對於雅里西安藍的吸附量最佳。雖說在pH=5環境下，亞甲藍的吸附量最佳，pH=8下，雅里西安藍吸附量最佳，但是如考慮到要將麻稈應用於環境廢棄色素之吸收，為了降低成本及避免酸鹼條件下對於環境的破壞，本實驗仍以pH=7的環境下進行麻稈對亞甲藍、雅里西安藍的吸附實驗。

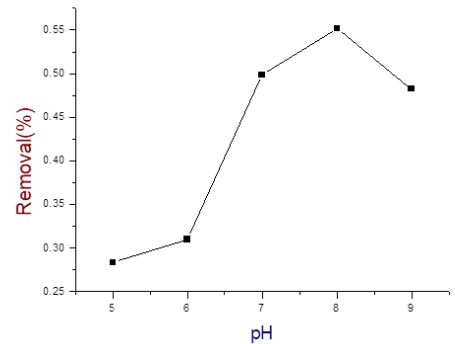
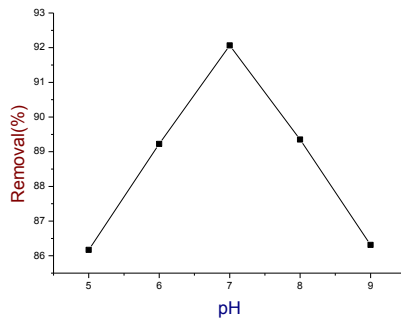
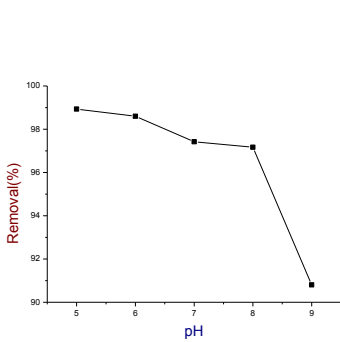


圖20亞甲藍在不同pH下的吸附率

圖21剛果紅在不同pH下的吸附率

圖22雅里西安藍在不同pH下的吸附率

三、 恆溫吸附模式(Adsorption Isotherm)探討

恆溫吸附模式主要有

(一) Langmuir Isotherm

Langmuir isotherm一般用來描述被吸附物之平衡濃度和吸附材料表面吸附量之關係。此吸附模式主要假設有：

1. 吸附實質上是屬於單層附蓋。
2. 每一個吸附位址對吸附質之作用力是相同的。
3. 一個位置上吸附分子後，並不會影響其餘分子之吸附效應。

將Langmuir公式線性化後得： $\frac{1}{q_e} = \left(\frac{1}{K_L q_m}\right) \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m}$ ， C_e 為平衡濃度， q_e 為平

衡時的吸附量， q_m 為最大吸附量， K_L 為吸附能量常數。亞甲藍、剛果紅、雅里西安藍相關數據如表二，圖23為亞甲藍之Langmuir isotherm數據做圖，圖25為剛果紅之Langmuir isotherm數據做圖，由表二可知其 R^2 值均高達0.9919，所以可以推測兩者的恆溫吸附模式應符合Langmuir isotherm。此外，其 q_m 值高達333.3mg/g，可見麻稈對於兩者均有極佳之吸附效果。然對於雅里西安藍而言，其數據對於Langmuir isotherm數據做圖，如圖27，由於其截距為負值，不符合 q_m 之定義，故可推測雅里西安藍應不屬Langmuir isotherm。

(二) Freundlich Isotherm

Freundlich Isotherm在稀薄溶液中進行吸附實驗下，是一種最常用來解釋其吸附行為的一種模式。屬理想的多層吸附模式、吸附材的表面可以吸附多層物質，且被吸附之各層物質仍具相當的吸附能力。將Freundlich 公式線性化後得

$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$ ， C_e 為平衡濃度， q_e 為平衡時的吸附量， K_F 和

值為 Freundlich 常數。其中n有三種判斷意義：

- (1) $n < 1$ 為有利吸附
- (2) $n = 1$ 為直線吸附
- (3) $n > 1$ 為不利吸附。

圖24為亞甲藍之Freundlich isotherm數據做圖，圖26為剛果紅之Freundlich isotherm數據做圖，圖28為雅里西安藍之Freundlich isotherm數據做圖，相關數據如表二。由表二可知，亞甲藍其 R^2 值高達0.991，所以可以推測亞甲藍的恆溫吸附模式亦屬於Freundlich isotherm。但其相關數據n值為1.1303，屬較不利吸附。然由表二得知，剛果紅其 R^2 值僅為0.9267，可知其較不符合Freundlich Isotherm。此外，由表二雅得知里西安藍之 R^2 值為0.9684，且其n值為0.1861，故其不僅符合Freundlich isotherm，且可推測其於平衡時間內之吸附行為屬有利吸附。

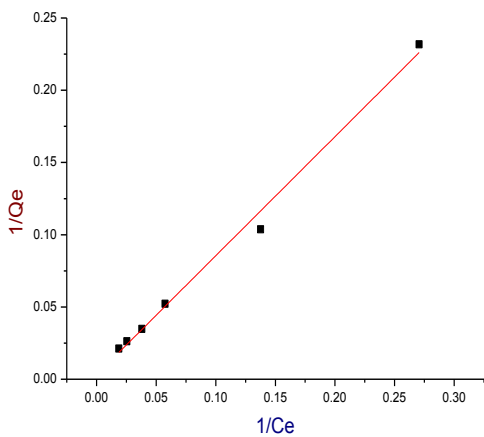


圖23亞甲藍 Langmuir Isotherm模式

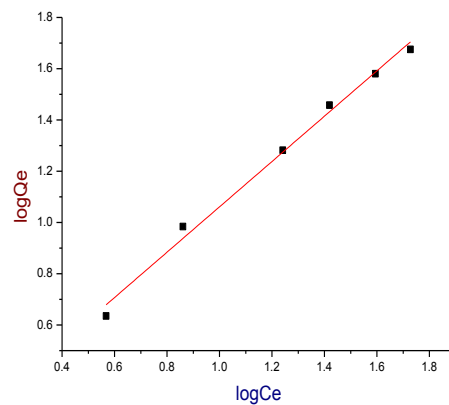


圖24亞甲藍 Freundlich Isotherm模式

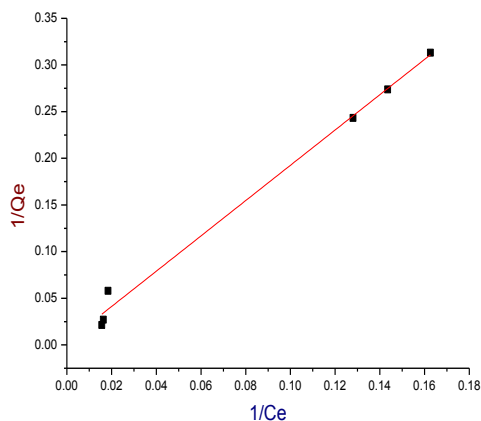


圖25剛果紅Langmuir Isotherm模式

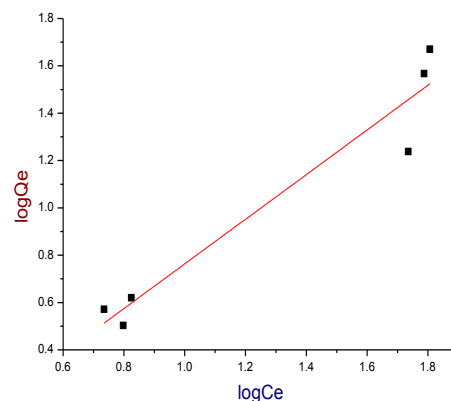


圖26剛果紅Freundlich Isotherm模式

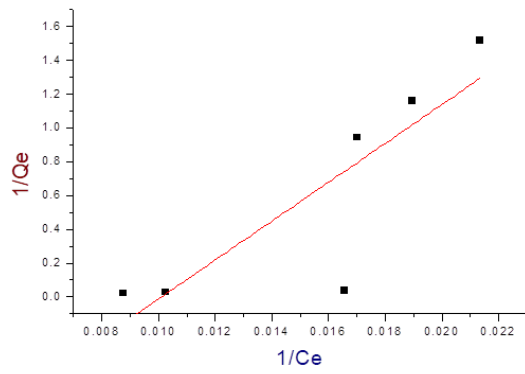


圖27雅里西安藍Langmuir Isotherm模式

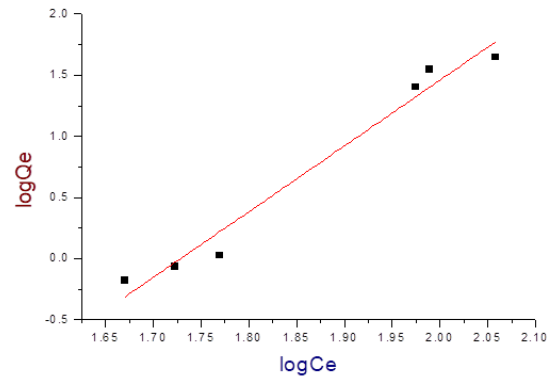


圖28雅里西安藍Freundlich Isotherm模式

Isotherm	Parameters	MB	CR	AB
Langmuir	q_m (mg/g)	333.33	333.33	-0.8610
	K_L (L/g)	0.0036	0.0016	-0.0101
	R^2	0.9919	0.9919	0.6521
Freundlich	K_F	1.5008	0.6610	0.5140
	n	1.1303	1.0602	0.1861
	R^2	0.9910	0.9267	0.9684

表二恆溫吸附模式相關數據

四、最大吸附量量測

為了實際上將麻稈應用於染紡工業上的廢水處理，所以進行了麻稈對於三種色素的最大吸附能力之實驗。各配置濃度達10000ppm的三種色素溶液，在24小時吸附，經過濾後，量測濾液濃度。然因剩餘濃度過高，導致UV-Vis光譜儀無法量測。故將濾液分別稀釋100倍後再進行量測。所推算得到之亞甲藍溶液其平衡濃度為6687.6222ppm，剛果紅為5407.8690，雅里西安藍為5356.40。故可以推測三者的 q_{max} 分別為6624.75、9184.262、9287.2，這屬相當大的吸附量。由此得知，麻稈在大量處理紡織業污水確實可以達到改善排放之功效。

肆、 結論與應用

一、 結論

本實驗利用台灣南部重要農作物芝麻，取其農作廢棄物麻稈進行常見染劑之吸附行為探討。麻稈對於亞甲藍及剛果紅在移除效率上均有不錯的表現，亞甲藍移除效率可達97.42%。此外針對不同pH環境下進行吸附實驗，剛果紅在pH=7的狀況下有最大的吸附效率，如此條件可以讓我們在選用麻稈作為吸附材時，可以減少酸鹼試劑的使用。

在動力學方面，麻稈對於亞甲藍、剛果紅及雅里西安藍均為pseudo-second-order關係，此模式代表為化學吸附行為。而實驗結果分別符合Langmuir isotherm模式及Freundlich isotherm。以麻稈作為常見染劑色素吸附，除了能有效吸附色素外，亦能減少農家私下以焚燒卻導致嚴重空汙的效益。本實驗後續會再進行各種常見染劑色素吸附的相關實驗，以及進一步利用麻稈進行重金屬離子吸附實驗，以期更能有效利用麻稈其優秀的吸附能力來達成環境永護之功效。

二、 未來展望

本實驗已開始著手進行部分重金屬離子，包含錳、鉛、銅之吸附相關實驗，但受限於學校設備之不足，未來可能會與大學端合作，以AAS(原子吸收光譜儀)或ICP(感應耦合電漿)，作為量測吸附後溶液殘存濃度之儀器，以進行進一步的分析。或是取用實驗室廢水進行吸附測試實驗，甚至是實地採樣工廠廢

水測試其吸附能力，以期能更善加利用芝麻稈優秀之吸附效果，來達到環境永護之功效。

伍、 參考文獻

1. S. Rovani, J. J. Santos, P. Corio, D. A. Fungaro Highly Pure Silica Nanoparticles with High Adsorption Capacity Obtained from Sugarcane Waste Ash *ACS Omega* **2018**, 3, 2618–2627
2. J. Zhao, Z. Lu, X. He, X. Zhang, Q. Li, T. Xia, W. Zhang, Fabrication and Characterization of Highly Porous Fe(OH)₃@Cellulose Hybrid Fibers for Effective Removal of Congo Red from Contaminated Water. *ACS Sustainable Chem. Eng.* **2017**, 5, 7723–7732
3. H. Hu, H. Quan, B. Zhong, Z. Li, Y. Huang, X. Wang, M. Zhang, D. Chen A Reduced Graphene Oxide Quantum Dot-Based Adsorbent for Efficiently Binding with Organic Pollutants. *ACS Appl. Nano Mater.* **2018**, 1, 6502–6513
4. R. Cui, Y. Lin, J. Qian, Y. Zhu, N. Xu, F. Chen, C. Liu, Z. Wu, Z. Chen, X. Zhou Two-Dimensional Porous SiO₂ Nanostructures Derived from Renewable Petal Cells with Enhanced Adsorption Efficiency for Removal of Hazardous Dye. *ACS Sustainable Chem. Eng.* **2017**, 5, 3478–3487
5. Y. Li, M. Wu, B. Wang, Y. Wu, M. Ma, X. Zhang Synthesis of Magnetic Lignin-Based Hollow Microspheres: A Highly Adsorptive and Reusable Adsorbent Derived from Renewable Resources. *ACS Sustainable Chem. Eng.* **2016**, 4, 5523–5532
6. L. G. Sorokhaibam, V. M. Bhandari, M. S. Salvi, S. Jain, S. D. Hadawale, V. V. Ranade Development of Newer Adsorbents: Activated Carbons Derived from Carbonized Cassia fistula. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2015**, 54, 11844–11857

【評語】 030022

廢水處理是一個在地方社會上常要面對的問題，利用農業廢棄物，製成吸附材料來處理廢水是一個環保又經濟的概念，利用芝麻桿來吸附富含有機染料的紡織廢水，就是在這樣一個概念下產生的，不僅如此，同學也試著在理論上去勾勒出吸附的機理，把科學和應用結合的概念，值得嘉許。